

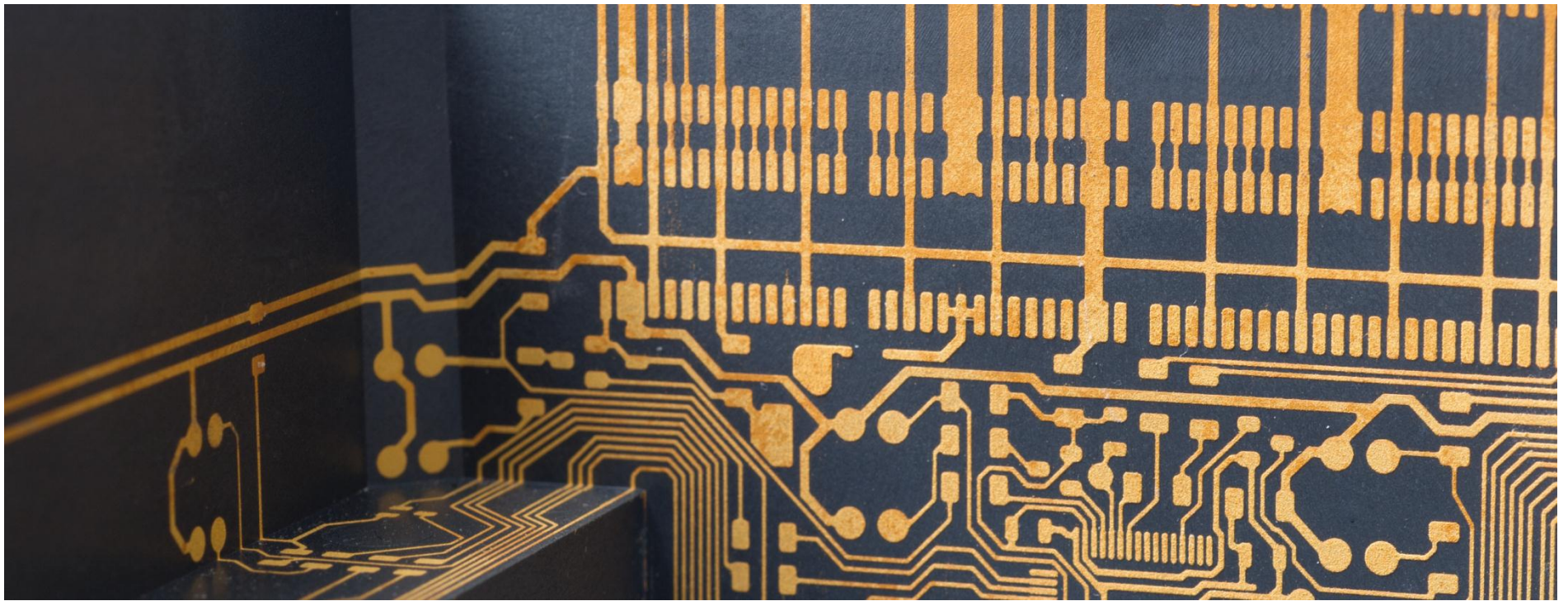
---

# PRODUKTOPTIMIERUNG DURCH MID

Nürnberg, 7. Mai 2014

Christoph Jürgehake – Gruppenleiter integrierte mechatronische Systeme

---



# Die Fraunhofer-Gesellschaft

## Standorte in Deutschland

- 80 Forschungseinrichtungen
- 22.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- Finanzvolumen 2012: 1,9 Mrd. €



- Institute und Einrichtungen
- weitere Standorte

- Standort Paderborn
- Start im März 2011
- 35 Wissenschaftliche Mitarbeiter



## Unsere Herausforderung:

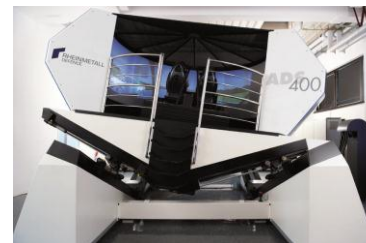
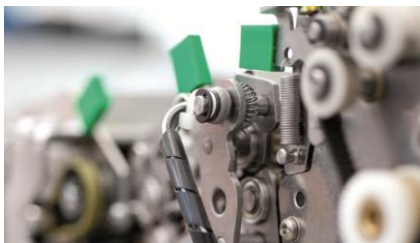


■ Produktkomplexität

■ Leistungsfähigkeit der Entwicklungsmethoden

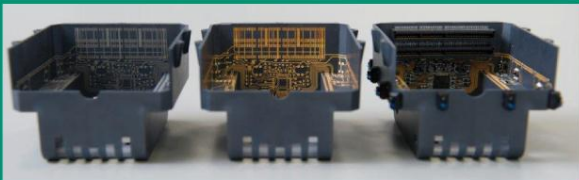
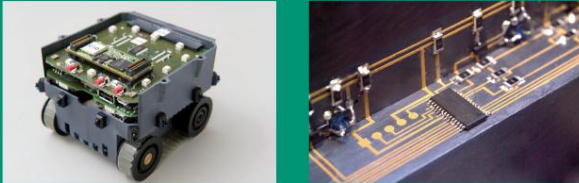
## Unsere Kompetenzen:

- **Produktentstehung:** Fachdisziplin-übergreifende Produkt- & Produktionssystemkonzipierung (Systems Engineering), Virtual Prototyping & Simulation, MID
- **Regelungstechnik:** Modellbildung & Simulation mechatronischer Systeme, Regelungsentwurf, HiL-Prüfstände und Prototypen
- **Softwaretechnik:** Prozesse, Methoden, Tools für die Entwicklung und Qualitätssicherung eingebetteter Software



# Drei Klassen mechatronischer Systeme

## Räumliche Integration von Mechanik und Elektronik



Vorrangige Aufgabe:  
Aufbau- u. Verbindungstechnik

## Mehrkörpersysteme mit kontrolliertem Bewegungsverhalten



Vorrangige Aufgabe:  
Regelung u. Automatisierung

## Intelligente, vernetzte Systeme



Vorrangige Aufgabe:  
Systems Engineering

**zunehmende Komplexität**

# Räumliche Integration von Mechanik und Elektronik durch MID

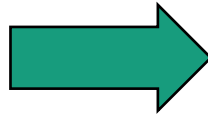
## Steigende Anforderungen

- Miniaturisierung
- Funktionsintegration
  - mechanisch
  - elektrisch/elektronisch
  - thermisch
  - optisch
  - fluidisch
- Zuverlässigkeit
- Rationalisierung

# Räumliche Integration von Mechanik und Elektronik durch MID

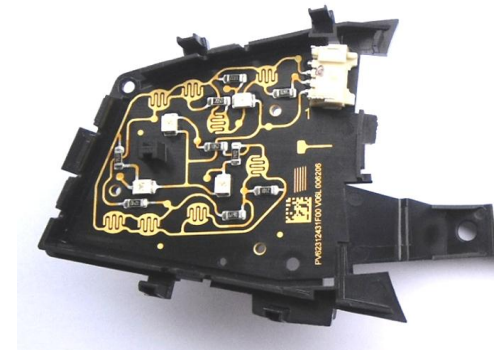
## Steigende Anforderungen

- Miniaturisierung
- Funktionsintegration
  - mechanisch
  - elektrisch/elektronisch
  - thermisch
  - optisch
  - fluidisch
- Zuverlässigkeit
- Rationalisierung



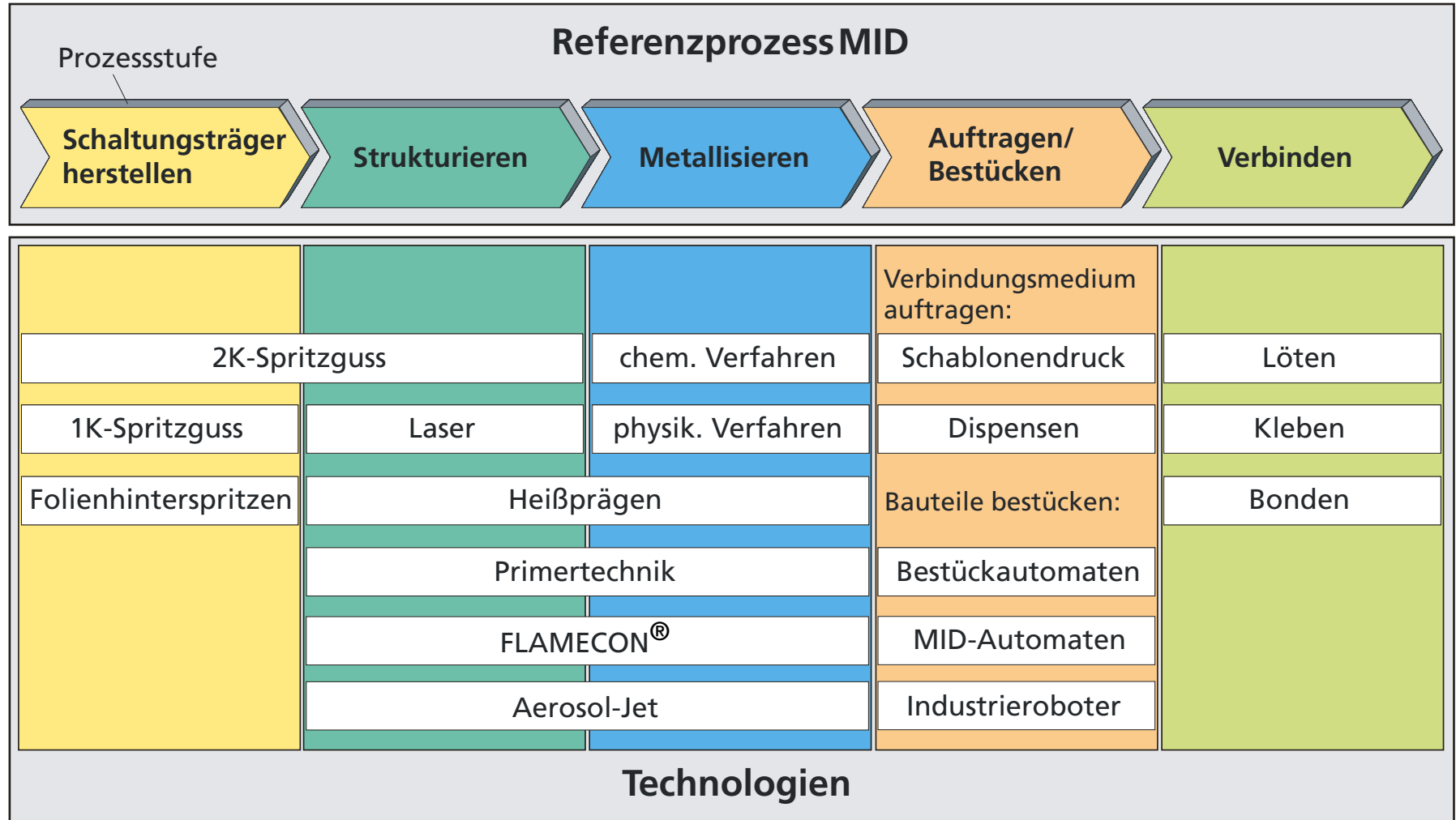
## Molded Interconnect Devices (MID)

- Integration auf räumlich spritzgegossenen Schaltungsträgern
- Selektive Oberflächenmetallisierung des Trägerbauteils
- Aufbringung elektronischer Bauteile

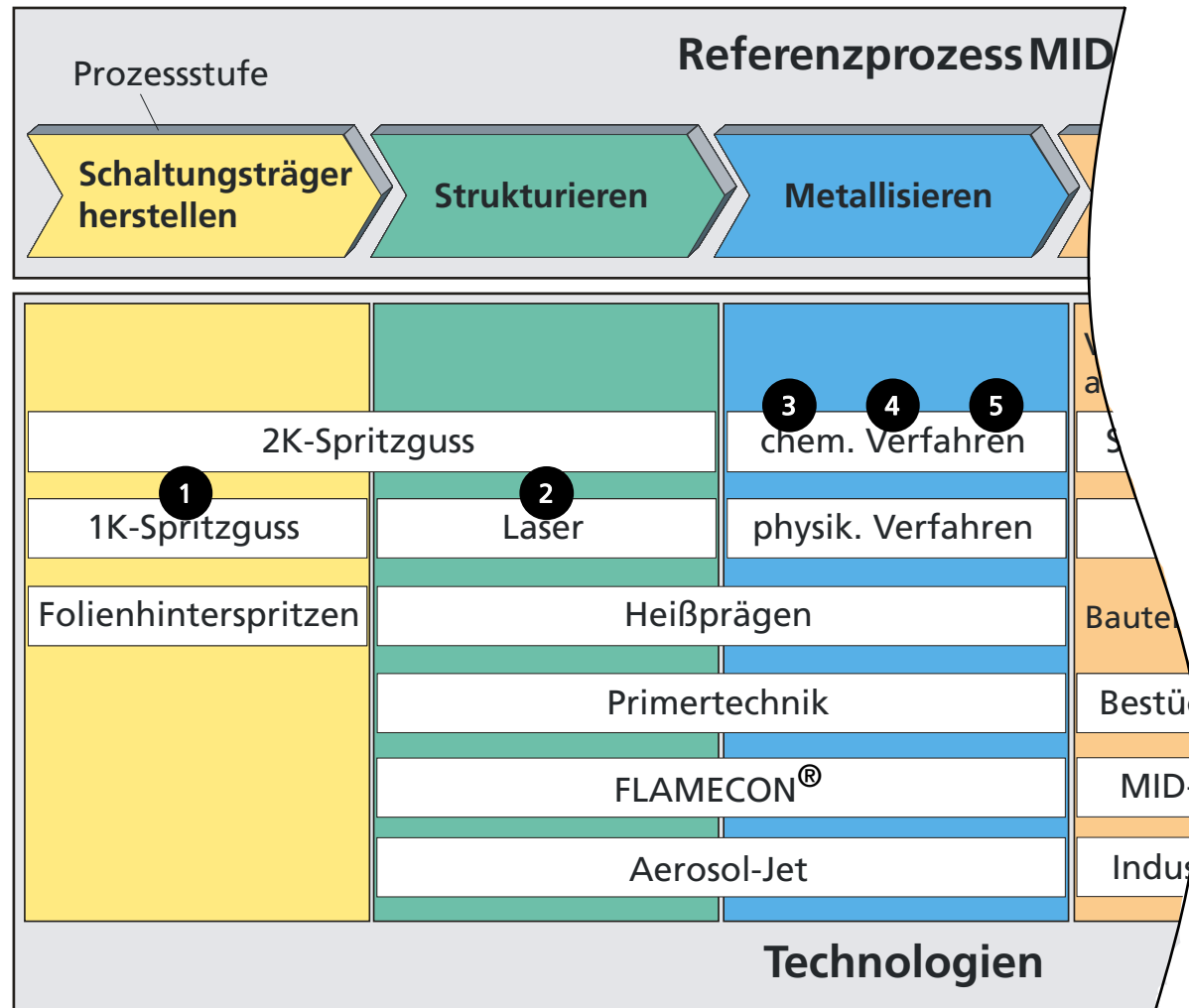


Quelle: Harting; Kromberg & Schubert; TRW Automotive

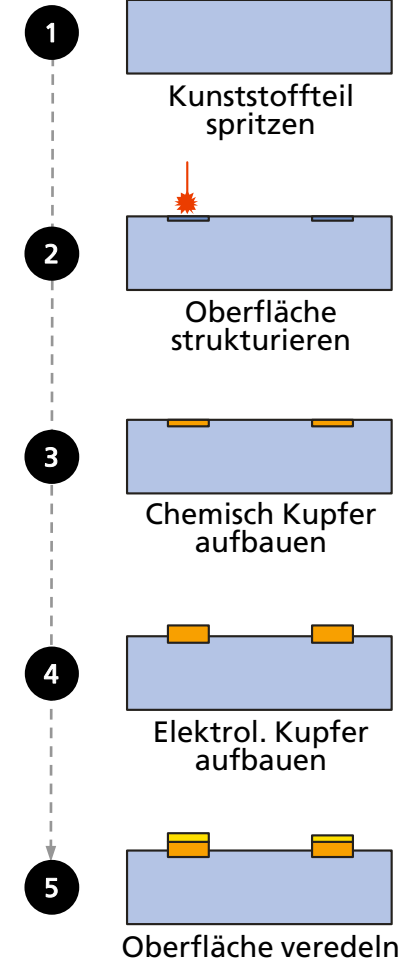
# Referenzprozess MID



# Referenzprozess MID – LDS®-Verfahren



## Laserdirektstrukturierung





# MID-Herstellverfahren im Überblick

## 3 serienreife Verfahren

### Laserdirektstrukturierung LPKF-LDS®



1. Spritzgießen Formteil
2. Strukturierung und Aktivierung der Oberfläche
3. Metallisierung der aktivierten Bereiche

### Zweikomponentenspritzguss



1. Erste Komponente: formgebend
2. Zweite Komponente: metallisierbar
3. Metallsierung der zweiten Komponente

### Heißprägen



1. Spritzgießen Formteil
2. Layout auf Schaltungsträger prägen
3. Elektronische Komponenten aufbringen

### Neue Verfahren stehen in den Startlöchern

- **Flamecon®**: Thermokinetisches Herstellverfahren zur Strukturierung von Makro-MID Bauteilen
- **plasmadust®**: Metallabscheidungen aus einem kalt-aktiven Atmosphärendruck-Plasma
- **Aerosol-Jet®**: Tintenartiger Schichtwerkstoff wird pneumatisch oder mittels Ultraschall zersträubt

# MID Studie 2011 im Auftrag der Forschungsvereinigung 3-D MID e.V.



**Lehrstuhl für Fertigungs-  
automatisierung und  
Produktionssystematik**

Prof. Dr.-Ing. J. Franke  
C. Goth

**Heinz Nixdorf Institut,  
Lehrstuhl für  
Produktentstehung**

Prof. Dr.-Ing. J. Gausemeier  
Dr.-Ing. R. Dumitrescu

**Plus weitere Experten und  
Fachleute aus der Industrie**



**HEINZ NIXDORF INSTITUT**  
Universität Paderborn

# MID Studie 2011 im Auftrag der Forschungsvereinigung 3-D MID e.V.



## Lehrstuhl für Fertigungs- automatisierung und Produktionssystematik

Prof. Dr.-Ing. J. Franke  
C. Goth

## Heinz Nixdorf Institut, Lehrstuhl für Produktentstehung

Prof. Dr.-Ing. J. Gausemeier  
Dr.-Ing. R. Dumitrescu



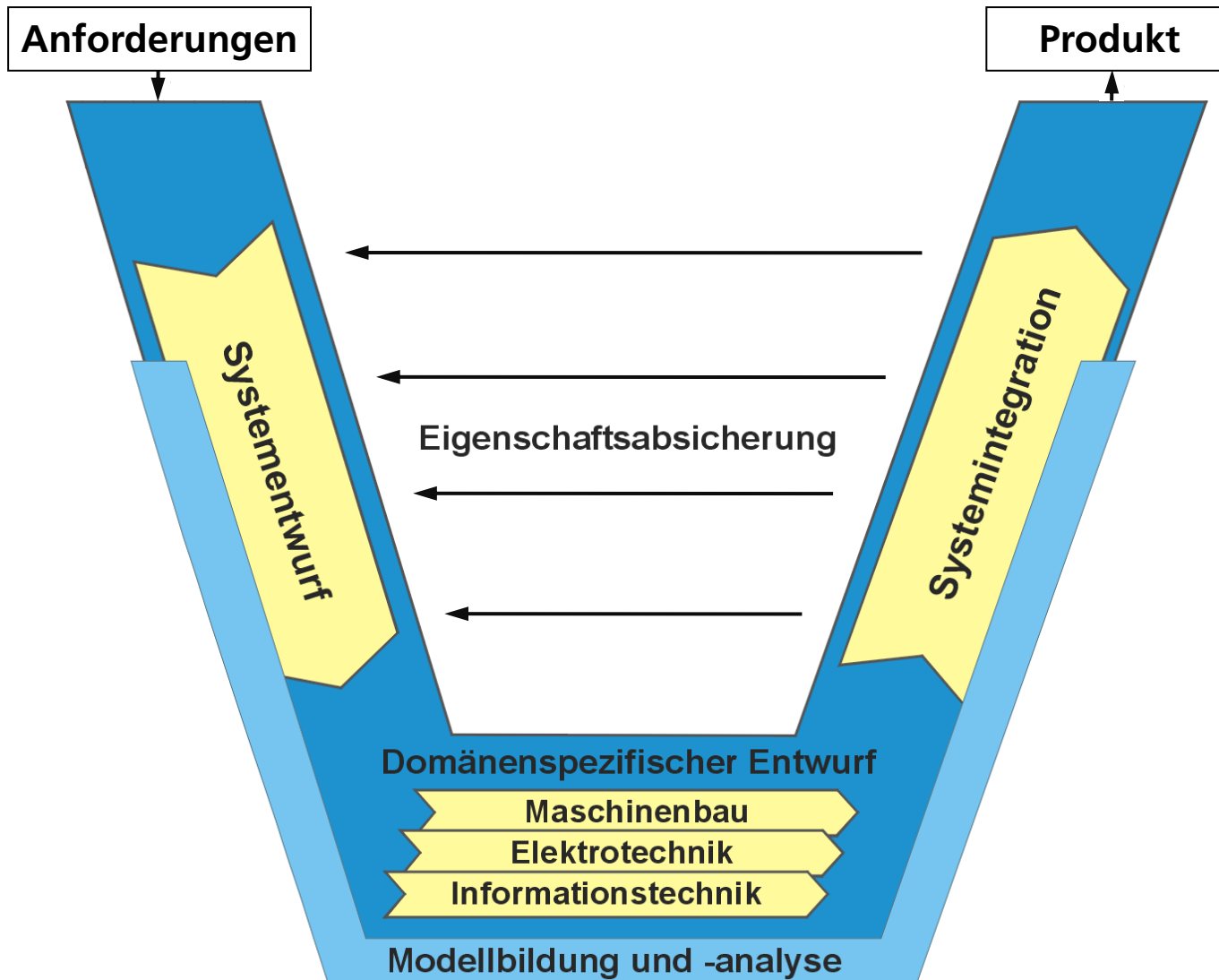
HEINZ NIXDORF INSTITUT  
Universität Paderborn

## 4 Schlüsselfaktoren

- Risikobereitschaft
- Korrekte Kostenabschätzung
- MID-gerechtes Design
- Komplexität der Prozesskette



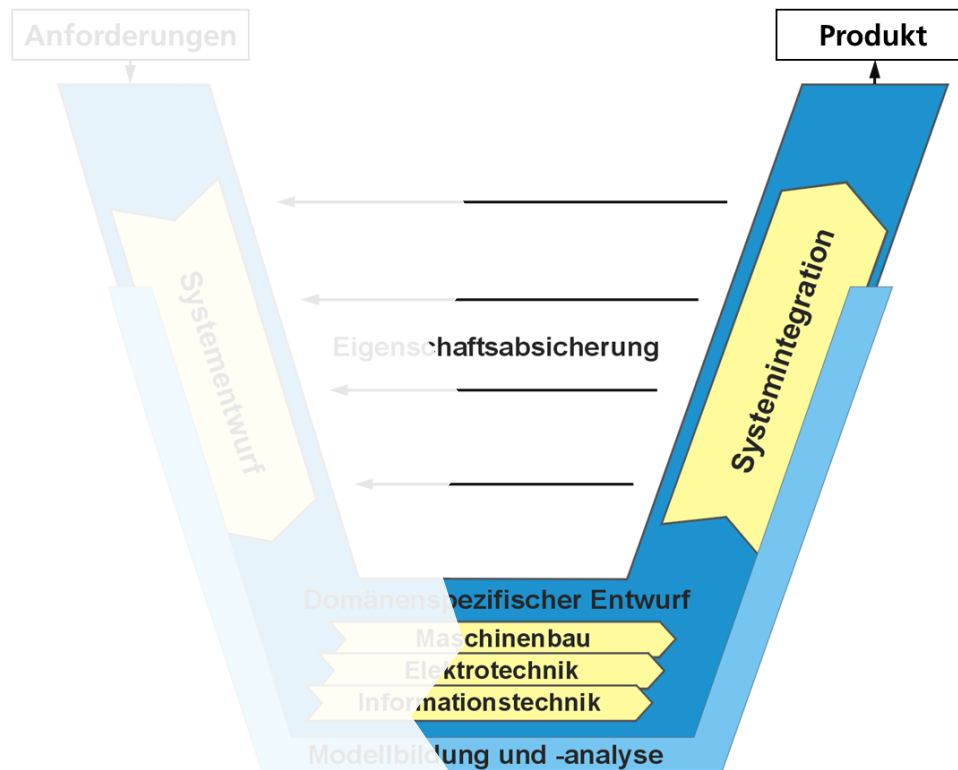
# V-Modell als Makrozyklus für die Mechatronikentwicklung



VDI-RICHTLINIEN		Juni 2006 June 2004	
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme	VDI 2206	
	Design methodology for mechatronic systems	Ausg. deutsch/englisch Issue German/English	
Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.		The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.	
Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note	2
1 Einleitung	3	1 Introduction	3
1.1 Motivation	3	1.1 Motivation	3
1.2 Zielsetzung	8	1.2 Goal setting	8
1.3 Zielgruppe	8	1.3 Target group	8
1.4 Einordnung der Richtlinie	8	1.4 Classification of the guideline	8
1.5 Aufbau der Richtlinie	9	1.5 Structure of the guideline	9
2 Einführung in die Entwicklung mechatronischer Systeme	9	2 Introduction to the development of mechatronic systems	9
2.1 Charakterisierung des Begriffs Mechatronik	9	2.1 Characterization of the term mechatronics	9
2.2 Aufbau mechatronischer Systeme	14	2.2 Structure of mechatronic systems	14
2.2.1 Grundstruktur	14	2.2.1 Basic structure	14
2.2.2 Modularisierung und Hierarchisierung	16	2.2.2 Modularization and hierarchization	16
2.3 Nutzenpotenzial der Mechatronik	18	2.3 Beneficial potential of mechatronics	18
2.4 Besonderheiten bei der Entwicklung	22	2.4 Special aspects of the development	22
3 Entwicklungsmethodik Mechatronik	26	3 Development methodology of mechatronics	26
3.1 Weggehen	26	3.1 Procedure	26
3.1.1 Problemlösungszyklus als Mikrozyklus	27	3.1.1 Problem-solving cycle as a micro-cycle	27
3.1.2 V-Modell als Makrozyklus	29	3.1.2 V model as a macrocycle	29
3.1.3 Prozessbausteine für wiederkehrende Arbeitsschritte	32	3.1.3 Process modules for recurrent working steps	32
3.1.4 Integrativer Entwurf von Produkt und Produktionssystem	41	3.1.4 Integrative design of product and production system	41
3.2 Modellbasierter Systementwurf	46	3.2 Model-based system design	46
3.2.1 Modellbildung	50	3.2.1 Modeling	50
3.2.2 Modellanalyse	54	3.2.2 Model analysis	54
3.3 Werkzeuge	56	3.3 Tools	56
3.4 Organisation	67	3.4 Organization	67
3.4.1 Zusammenstellen eines Projektteams	67	3.4.1 Putting together a project team	67
3.4.2 Umsetzung technischer Ergebnisse	69	3.4.2 Implementation of technical results	69

## VDI-Richtlinie 2206

# Herausforderungen bei der Entwicklung mechatronischer Systeme



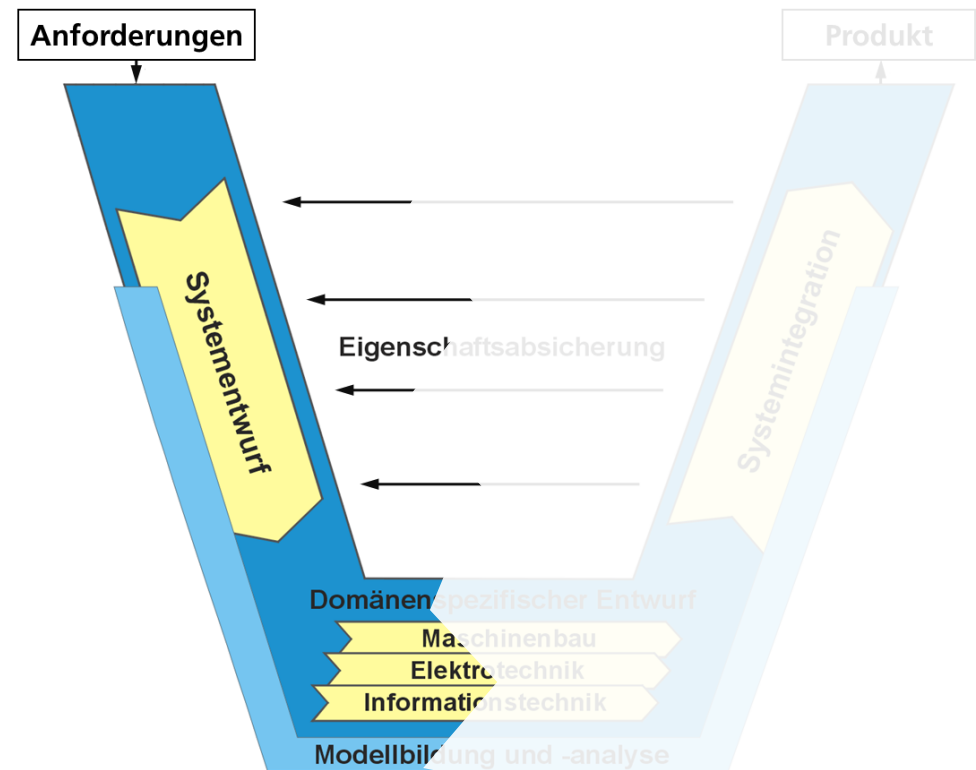
Probleme treten im rechten Ast auf:

- Hohe Abstimmungsaufwände
- Späte, kostenaufwändige Änderungen
- Nachträgliche Anforderungsänderungen
- Lange Entwicklungszeiten
- Die angestrebte Produktqualität wird nicht erreicht
- Hohe Garantie- und Kulanzkosten

# Herausforderungen bei der Entwicklung mechatronischer Systeme

## Ursachen liegen im linken Ast:

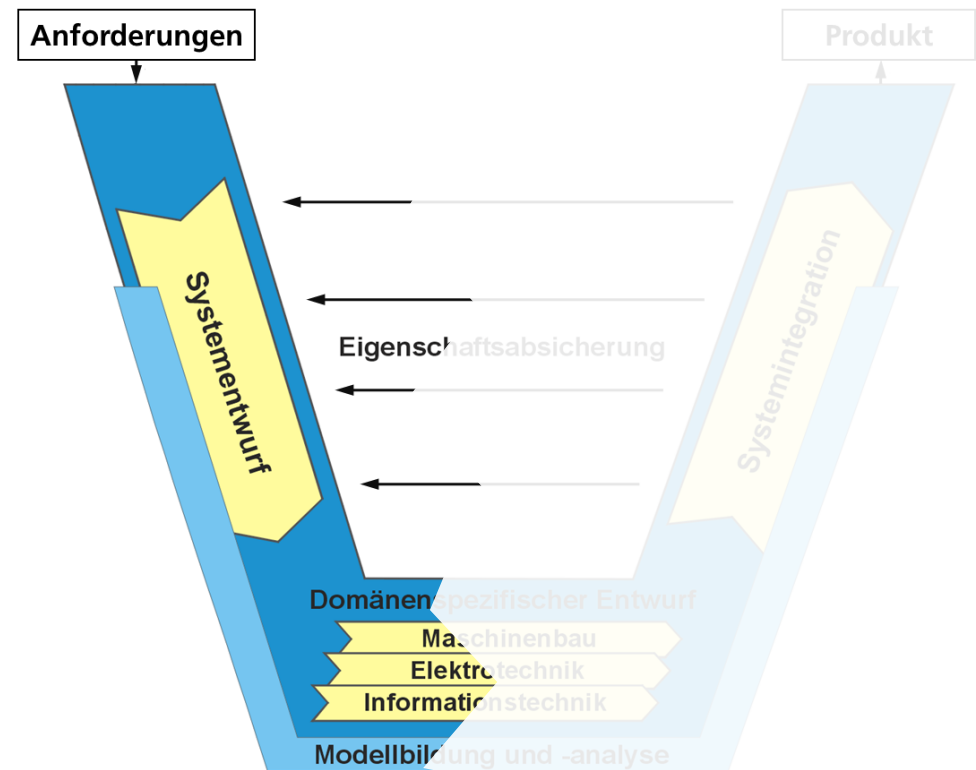
- Kein einheitliches Verständnis über das Gesamtsystem
- Komponentenorientiertes Denken
- Nur disziplinspezifische Modelle
- Unzureichendes methodisches Vorgehen
- Fehlende Transparenz und Nachverfolgbarkeit von Informationen
- Späte Betrachtung der Produktion



# Herausforderungen bei der Entwicklung mechatronischer Systeme

## Ursachen liegen im linken Ast:

- Kein einheitliches Verständnis über das Gesamtsystem
- Komponentenorientiertes Denken
- Nur disziplinspezifische Modelle
- Unzureichendes methodisches Vorgehen
- Fehlende Transparenz und Nachverfolgbarkeit von Informationen
- Späte Betrachtung der Produktion



Durchgängige und integrative Entwicklung im Sinne eines ganzheitlichen Systems Engineerings – auch bei Anpassungen und Produktoptimierungen

# Räumliche Integration von Mechanik und Elektronik durch MID

## 3D Anordnung

- Präzise Positionierung
- Definierte Winkel zwischen Bauelementen

## MID Strukturen

- Antennen
- Kontaktflächen
- Abschirmung

## Gehäusefunktion

- Befestigungselemente
- Schaltungsträger ist Gehäuse

Miniatürisierung

Gewichts-  
reduzierung

Gestaltungs-  
freiheit

Funktions-  
integration

Potentiale  
räumlicher  
elektronischer  
Schaltungsträger

Verkürzung d.  
Prozesskette

Geringere  
Teileanzahl

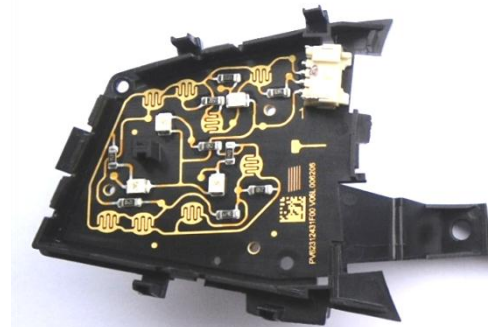
Reduzierung d.  
Fertigungskosten

Höhere  
Zuverlässigkeit

Produktinnovation

Prozessinnovation

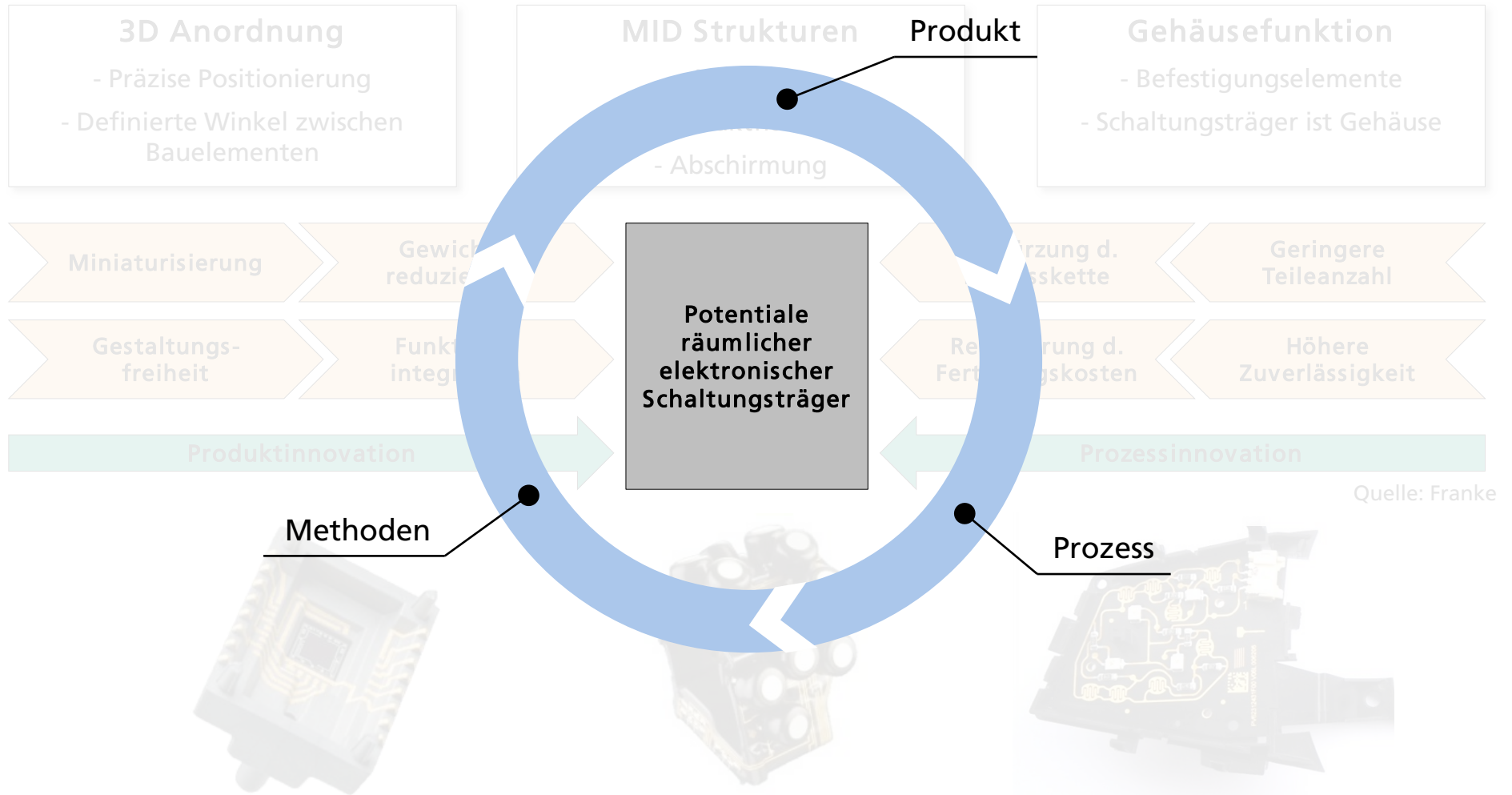
Quelle: Franke



Quelle: Harting; Kromberg & Schubert; TRW Automotive

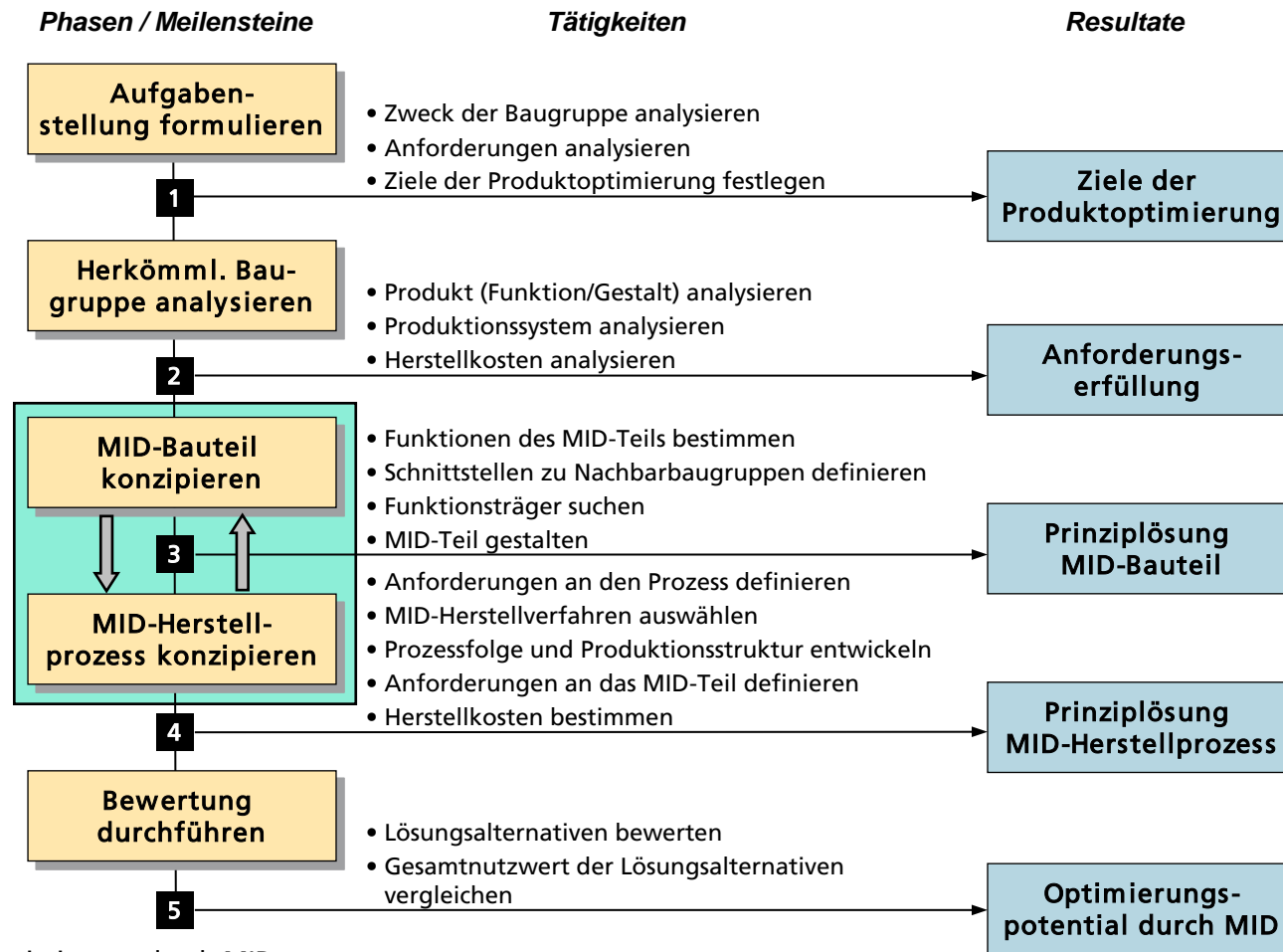


# Räumliche Integration von Mechanik und Elektronik durch MID



# Produktoptimierung durch MID

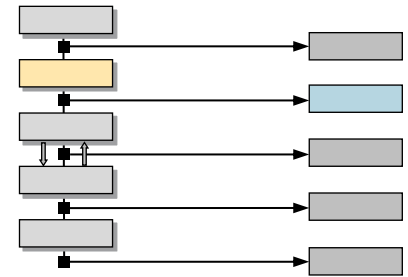
## Phasen / Meilensteine



Quelle: PEITZ, T.: Produktoptimierung durch MID

# Produktoptimierung durch MID

## Produktanalyse



### Gegenstand

- Aufnahme von **Aufbau, Funktionsweise** und **Herstellungsverfahren** der zu betrachtenden Produkte mit Hilfe von Interviews mit den Projektverantwortlichen
- Dokumentation der Ergebnisse in Produktsteckbriefen
- Identifikation derjenigen Produktfunktionen, die in MID realisiert werden können
- Dokumentation der Ideen mit Hilfe von Ideensteckbriefen



### Resultate

- Produkt-/Ideensteckbriefe
- Herstellprozess bestehendes Produkt



### Interviews

Interviews zur Aufnahme der Produktsteckbriefe



- Teilnehmer: Verantwortliche Produktabteilung (BU, Department, Gruppe, etc.), Kunststoffverarbeitung, Elektronik/Sensorik und Maschinenbau/Fertigung
- Inhalt: Aufbau, Funktionsweise und Herstellverfahren der zu betrachtenden Produkte

# Aufnahme und Analyse der Herstellprozesse

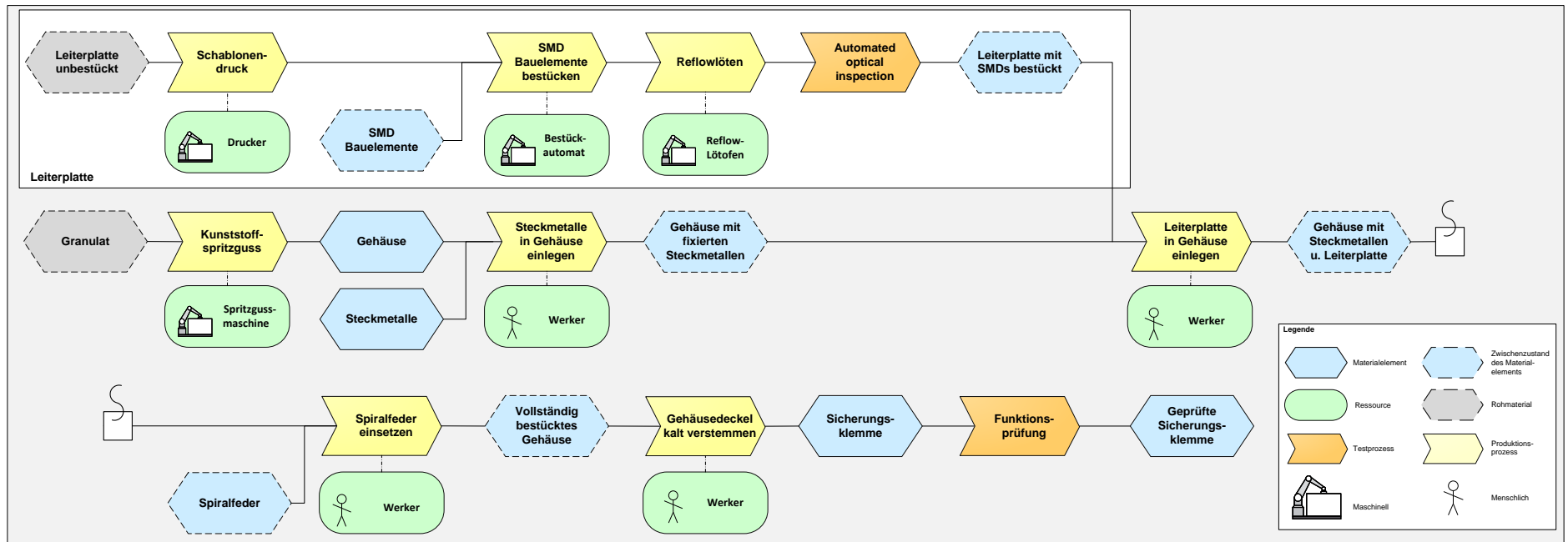
## Beispiel: Sicherungsklemme

### Vorgehensweise

- Aufnahme des derzeitigen Herstellprozesses
- Interviews mit Produktverantwortlichen und Vertretern aus Fertigung, Kunststoffverarbeitung und Maschinenbau

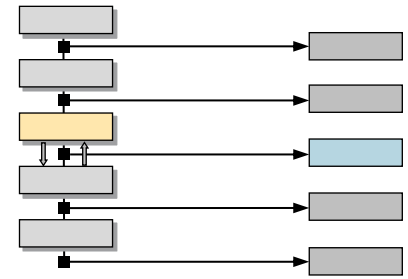
### Ansatz

- Identifikation von Prozessschritten
- Produkt und Produktionssystem sind integrativ zu gestalten und gemeinsam zu optimieren
- Analyse der Prozesskomplexität



# Produktoptimierung durch MID

## MID-Bauteil konzipieren



### Gegenstand

- Funktionen des MID-Teils bestimmen und festlegen
- Schnittstellen zu Nachbarbaugruppen definieren und einen entsprechenden Funktionsträger suchen
- Grobgestalt des MID-Teils entwerfen und gestalten
- Produktkonzept im Rahmen von Workshops mit den projektverantwortlichen Experten diskutieren und optimieren



### Resultate

- Produktkonzept
- Grobgestalt



### Workshops

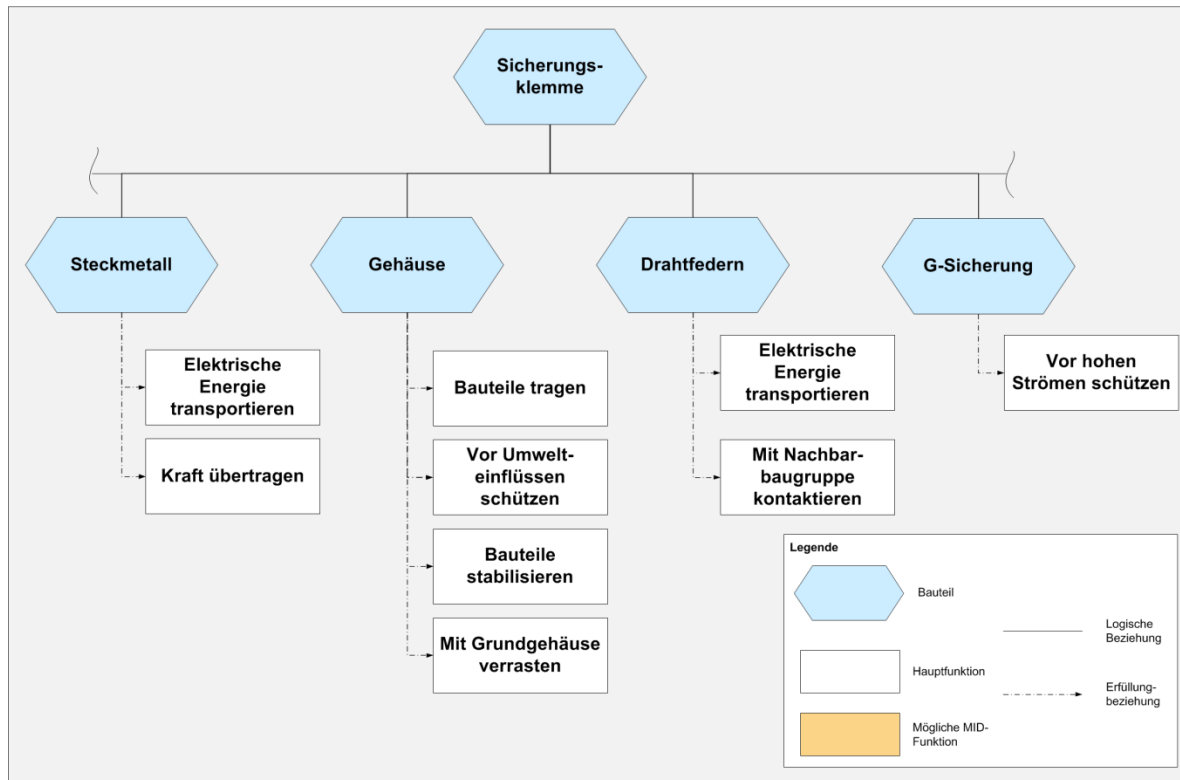
Workshops zur Erarbeitung der Produktkonzepte



- Teilnehmer: Verantwortliche Produktabteilung (BU, Department, Gruppe, etc.), Fertigung, evtl. Funktionsabteilung (z.B. Sensorik, HF, etc.)
- Inhalt: Grobgestalt des zu optimierenden Produkts

# Identifikation der MID-Funktionen

## Beispiel: Sicherungsklemme

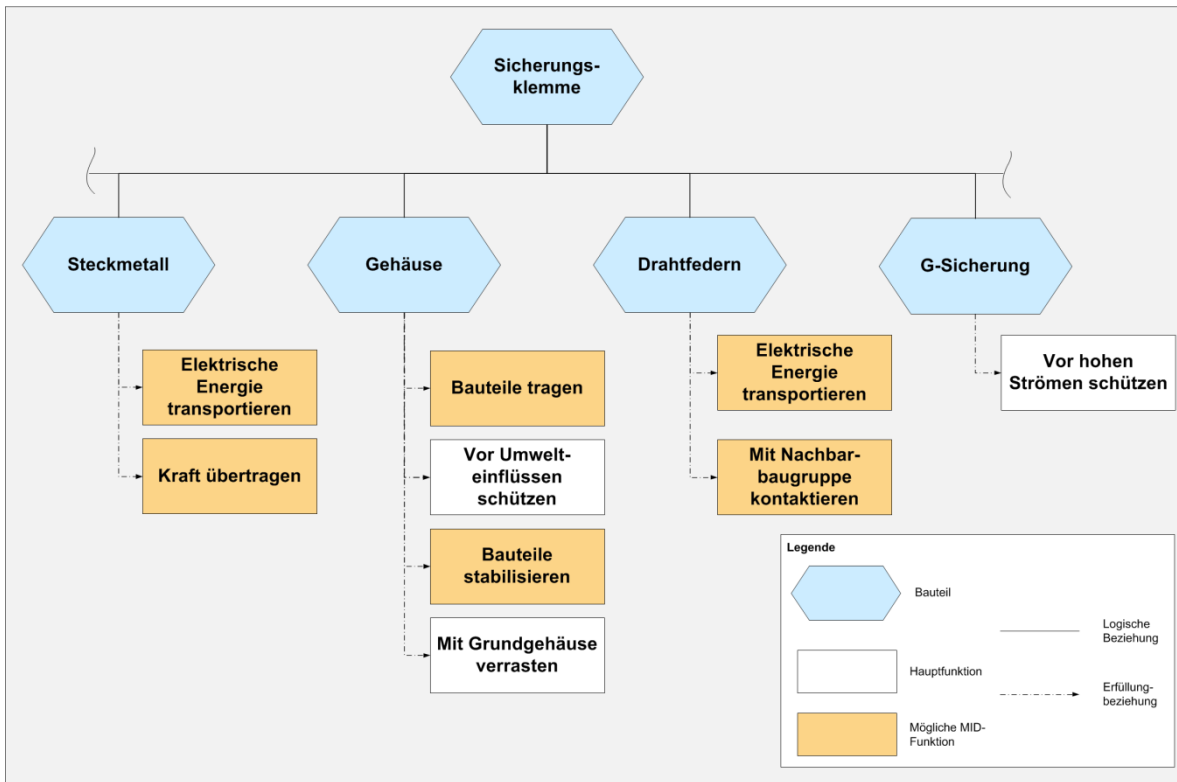


### Vorgehensweise

- Aufstellen der Erzeugnisstruktur
- Zuordnung der Hauptfunktionen auf der Bauteilebene
- Identifikation der Funktionen, die durch MID-Bauteile erfüllbar sind

# Identifikation der MID-Funktionen

## Beispiel: Sicherungsklemme



### Vorgehensweise

- Aufstellen der Erzeugnisstruktur
- Zuordnung der Hauptfunktionen auf der Bauteilebene
- Identifikation der Funktionen, die durch MID-Bauteile erfüllbar sind

### Elektronische MID-Funktionen





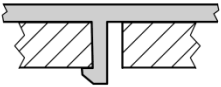
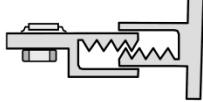

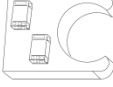

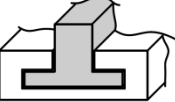

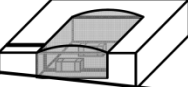

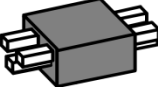
- Elektrische Energie transportieren
- Mit Nachbarbaugruppe kontaktieren
- Elektronische Bauteile kontaktieren
- Signal leiten
- Vor hohen elektr. Strömen schützen

### Mechanische MID-Funktionen

- Bauteile tragen
- Vor Umwelteinflüssen schützen
- Bauteile stabilisieren
- Kraft übertragen
- Thermische Energie leiten

# Identifikation der MID-Funktionen

## Konstruktionskatalog (Ausschnitt)

Funktion		Lösung					
		Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Lösung 4	Lösung 5	Lösung 6
mechanische MID-Funktionen	Bauteile tragen	2 ½ D 	n x 2D 	Schalenstruktur 	 3D		
	Kraft übertragen	Schnappverb. 	Sägezähne 	Zahnrad 	Klemmverb. 	Steckverb. 	Schiebeverb. 
	Vor Umwelteinflüssen schützen	Gehäuse 	Vergießen 	Lackierung 	Umspritzen 		

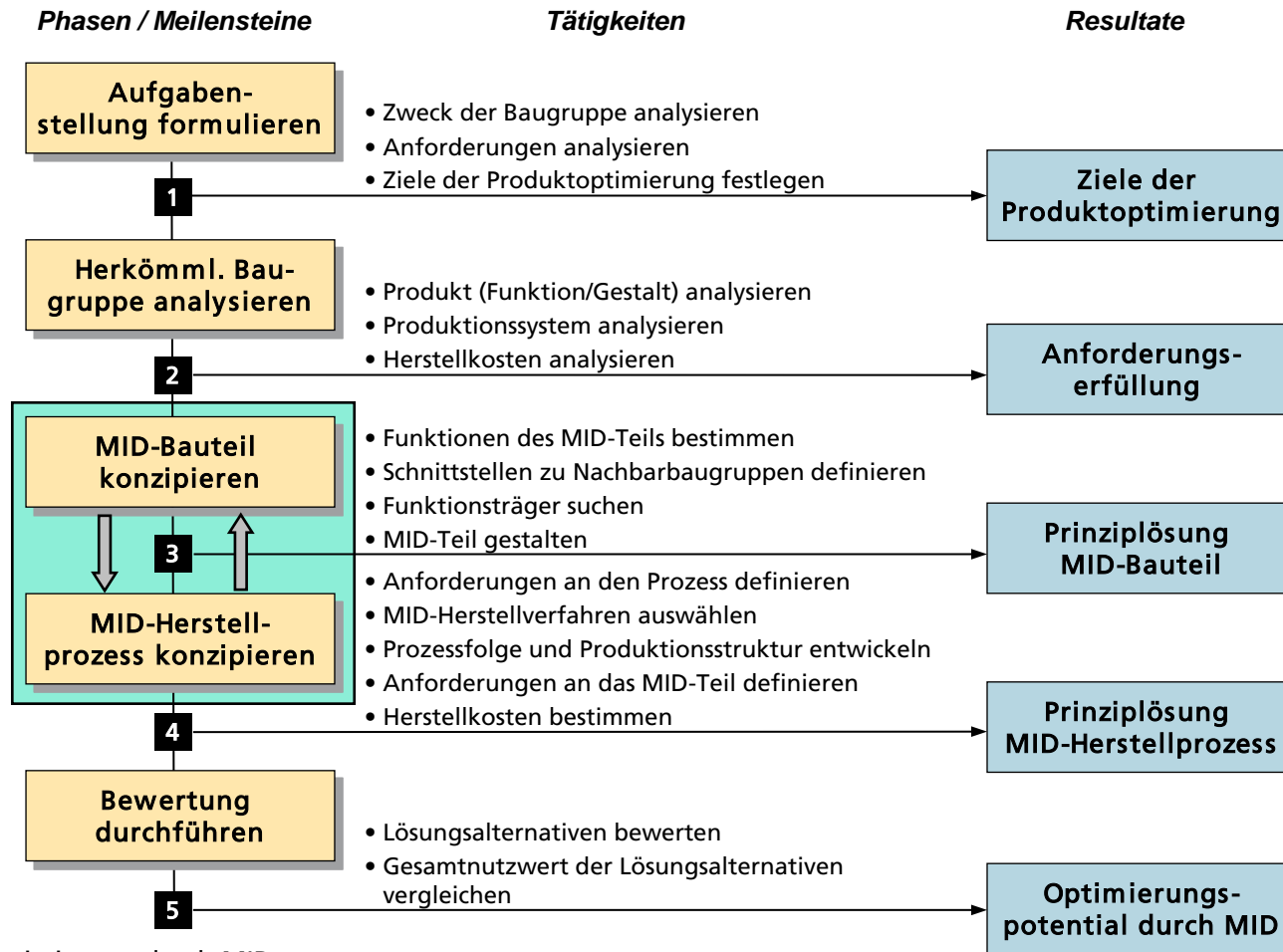


Der MID-Konstruktionskatalog fasst Lösungsvarianten für die mechanischen und elektronischen MID-Funktionen zusammen. Der Katalog ermöglicht den Entwicklern einen methodischen und schnellen Zugriff auf mögliche Funktionsträger und damit eine aufgabenorientierte Lösungsfindung.



# Produktoptimierung durch MID

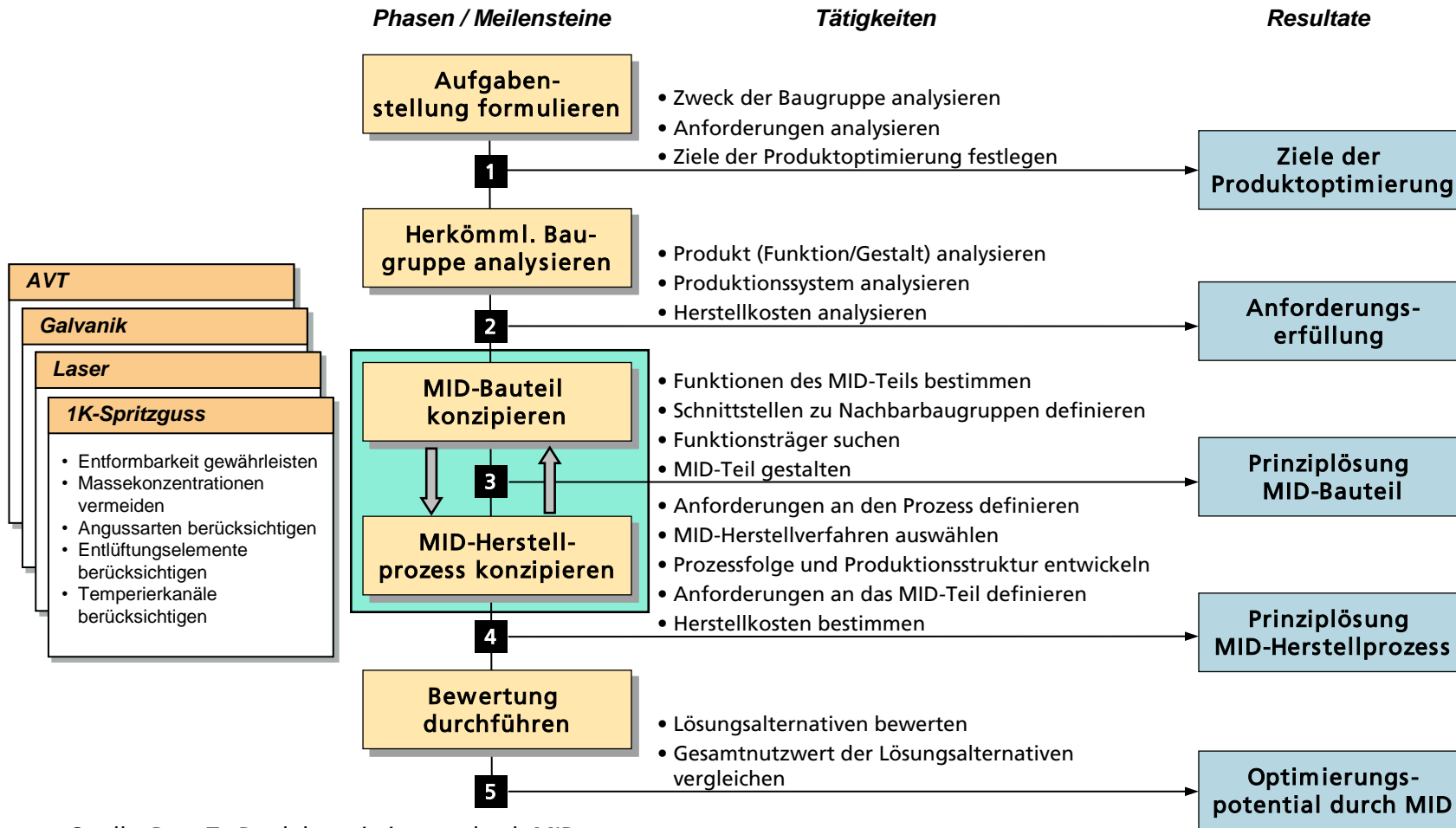
## Phasen / Meilensteine



Quelle: PEITZ, T.: Produktoptimierung durch MID

# Produktoptimierung durch MID

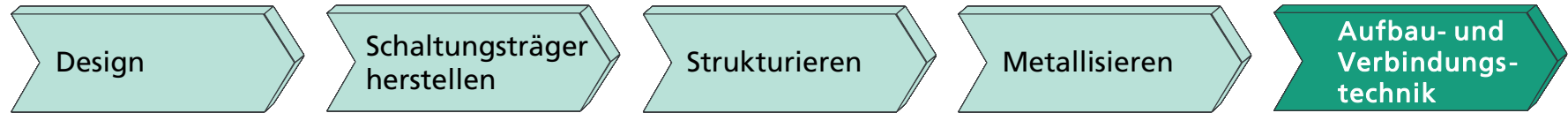
## Phasen / Meilensteine



Quelle: PEITZ, T.: Produktoptimierung durch MID

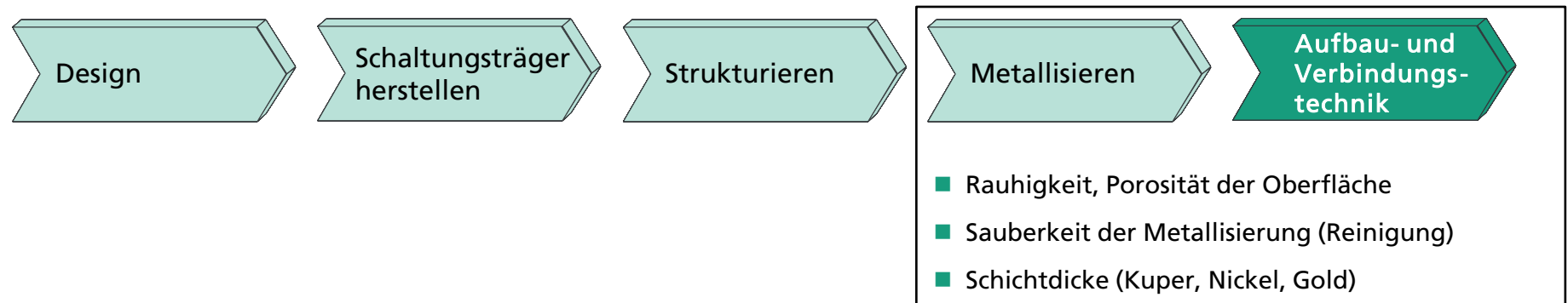
# Produktoptimierung durch MID

## Abhängige Anforderungen, z.B. in der AVT



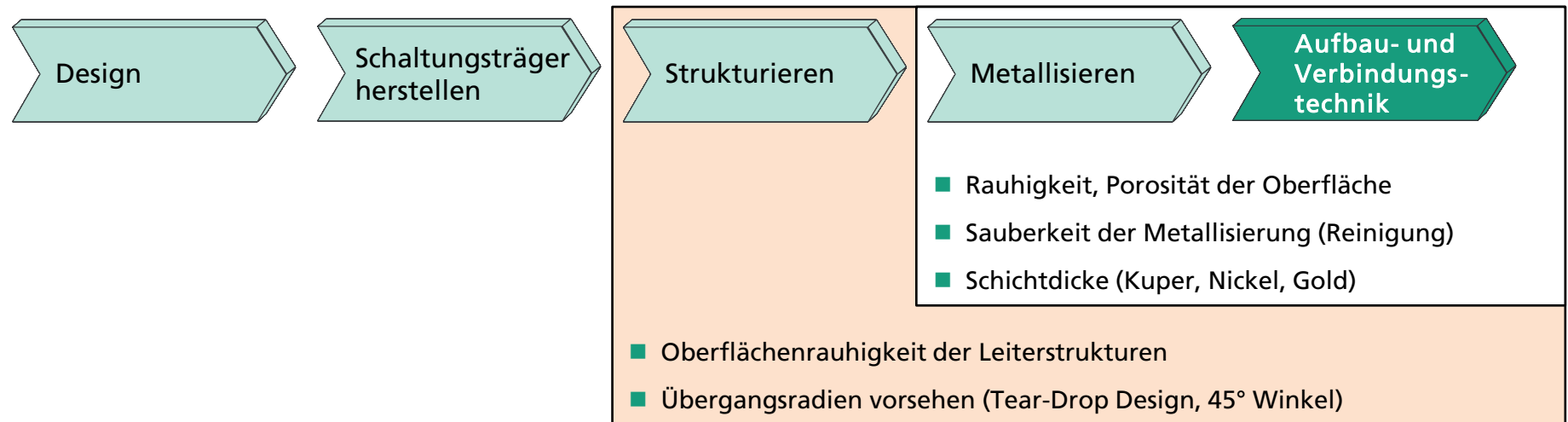
# Produktoptimierung durch MID

## Abhängige Anforderungen, z.B. in der AVT



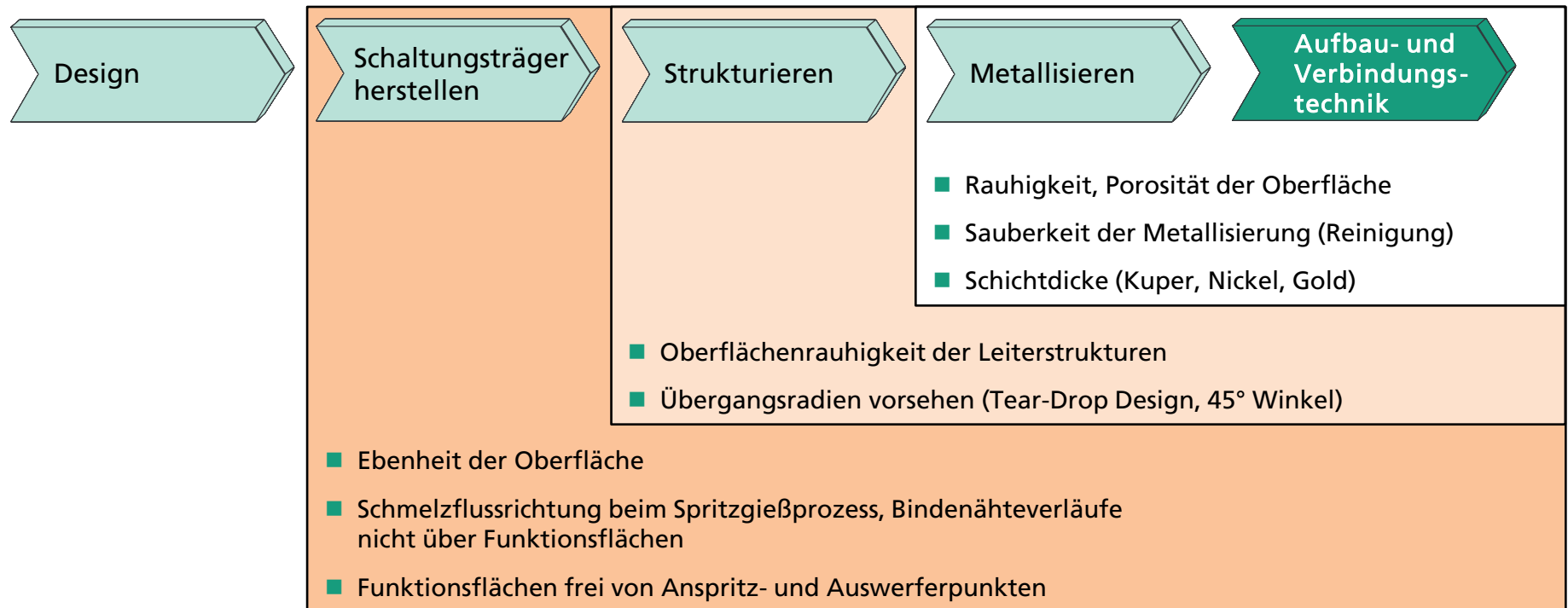
# Produktoptimierung durch MID

## Abhängige Anforderungen, z.B. in der AVT



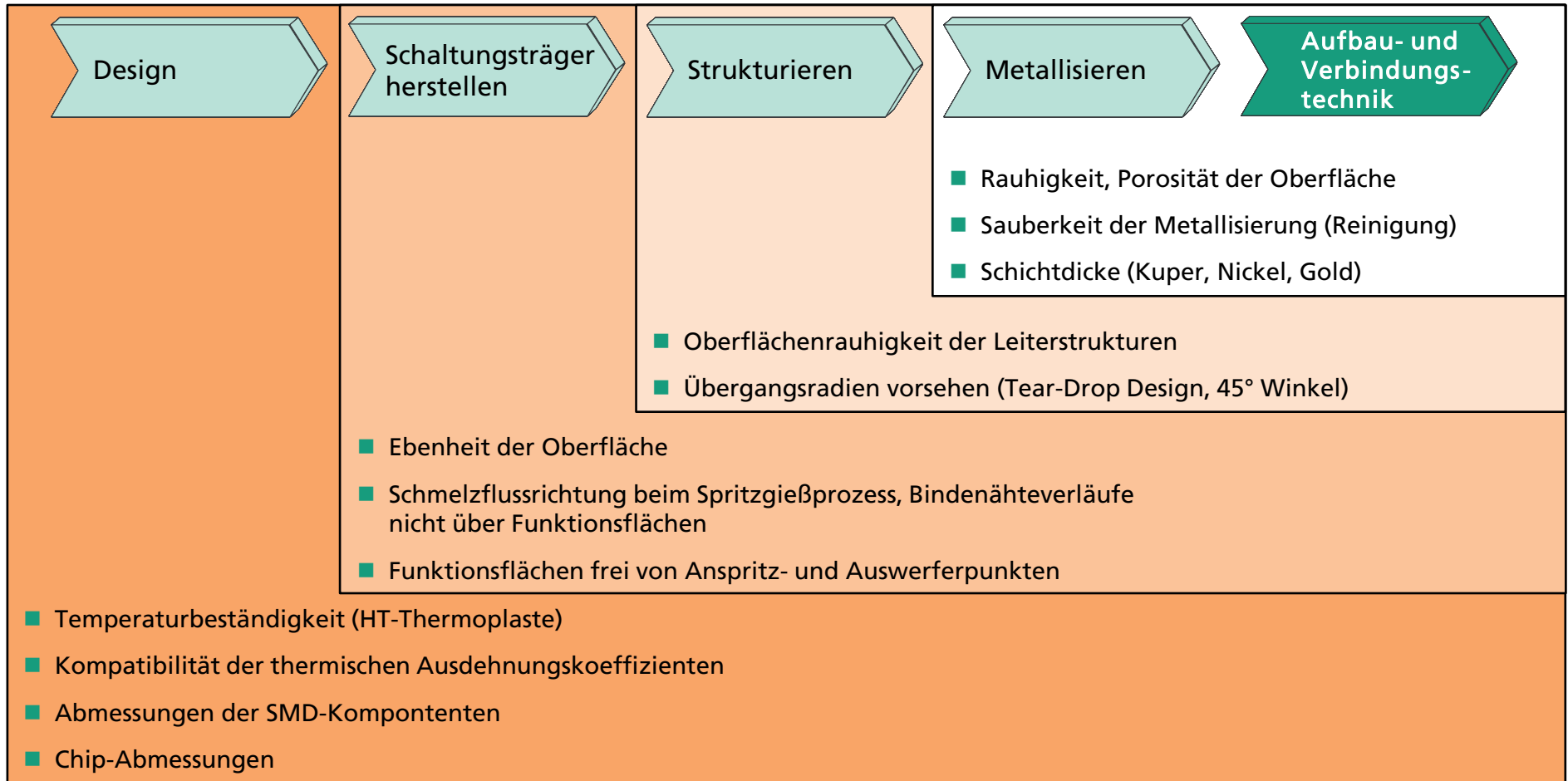
# Produktoptimierung durch MID

## Abhängige Anforderungen, z.B. in der AVT



# Produktoptimierung durch MID

## Abhängige Anforderungen, z.B. in der AVT

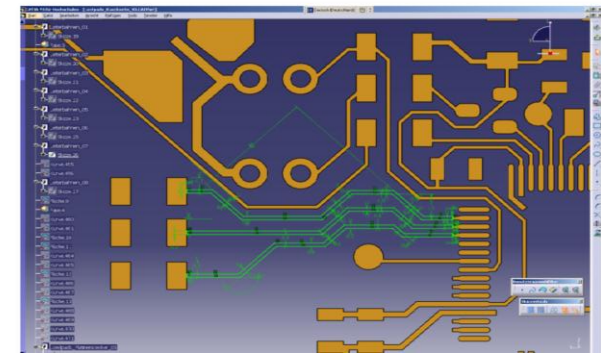
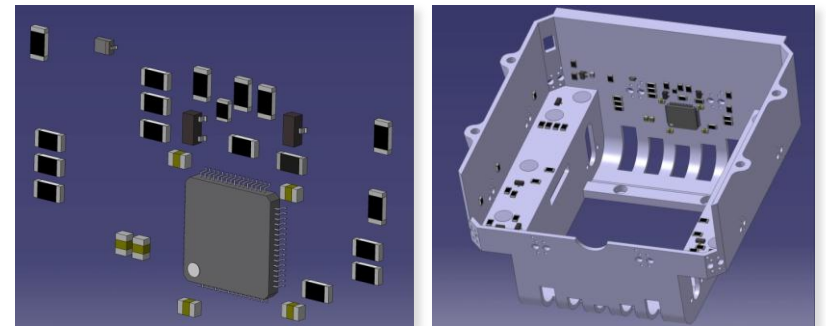
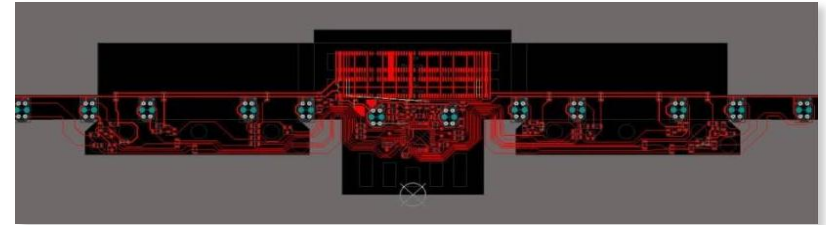


# Entwicklung von MID-Bauteilen

## Integrative Entwicklung des Schaltungslayouts und der mechanischen Konstruktion

### Motivation

- MID-Herstellverfahren und Prozesse der AVT erfordern CAD/CAM-Kette
- Funktionalitäten von MCAD- und ECAD-Werkzeugen erforderlich
- Detaillierte Ausarbeitung auf Basis des disziplinübergreifenden Entwurfs
- Visualisierung der Optimierungslösungen mit vorhandenen Werkzeugen
- Direktes Verständnis für die Ausrichtung der Komponenten und den Bauraum
- Vorgehensweise übertragbar



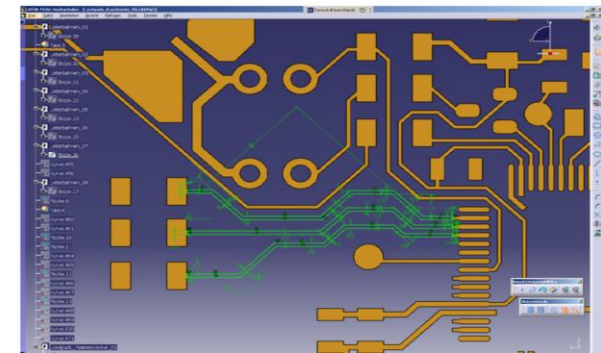
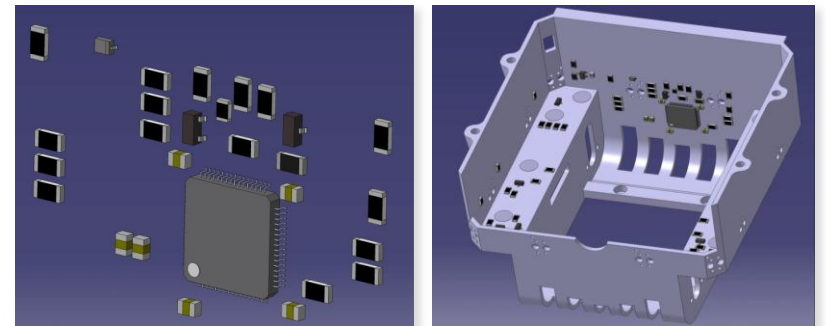
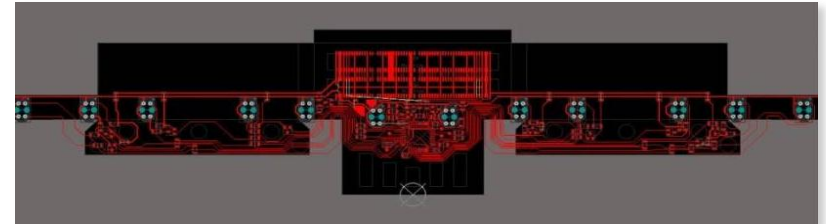


# Entwicklung von MID-Bauteilen

## Integrative Entwicklung des Schaltungslayouts und der mechanischen Konstruktion

### 2D Layoutdesign

- Gestaltung des Leiterbahnlayouts des MID Produkts, bspw. in Altium Designer



# Entwicklung von MID-Bauteilen

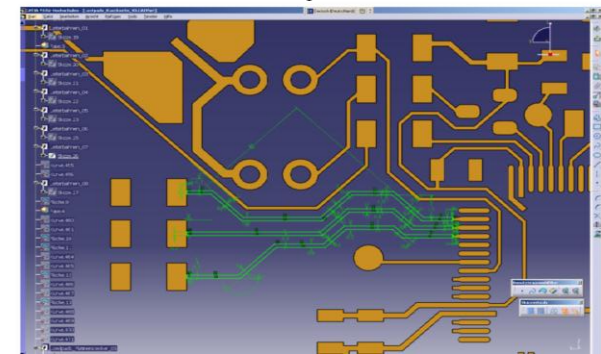
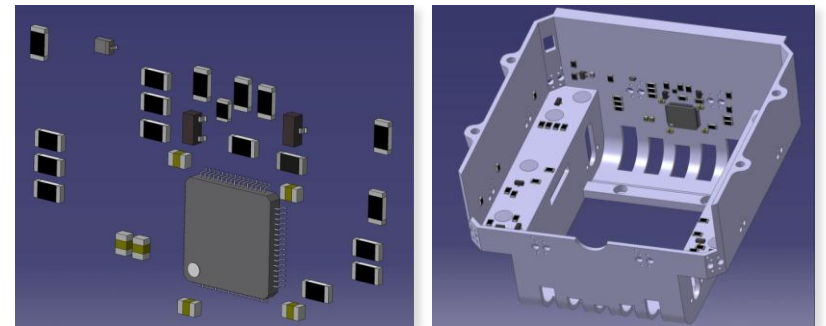
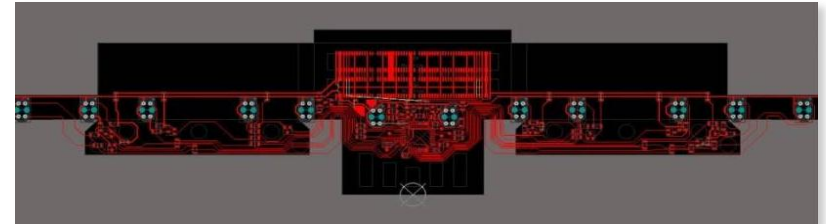
## Integrative Entwicklung des Schaltungslayouts und der mechanischen Konstruktion

### 2D Layoutdesign

- Gestaltung des Leiterbahnlayouts des MID Produkts, bspw. in Altium Designer

### Lückenschluss zwischen ECAD und MCAD

- Übertragung der SMD-Komponenten jeder Teilfläche mittels STEP-Format
- Zusammenführung aller Komponenten in einer Baugruppe

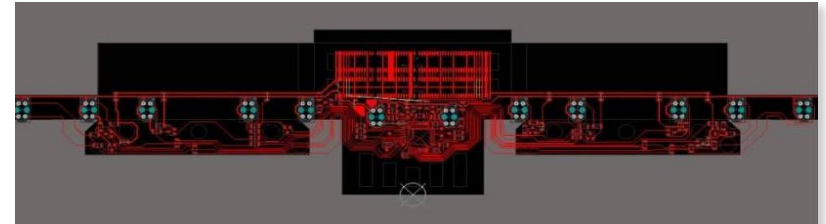


# Entwicklung von MID-Bauteilen

## Integrative Entwicklung des Schaltungslayouts und der mechanischen Konstruktion

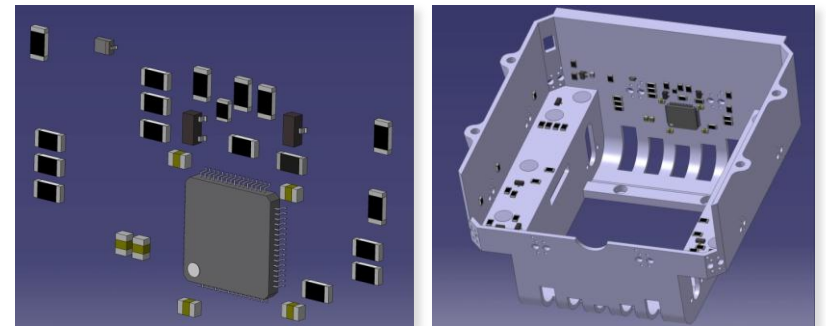
### 2D Layoutdesign

- Gestaltung des Leiterbahnlayouts des MID Produkts, bspw. in Altium Designer



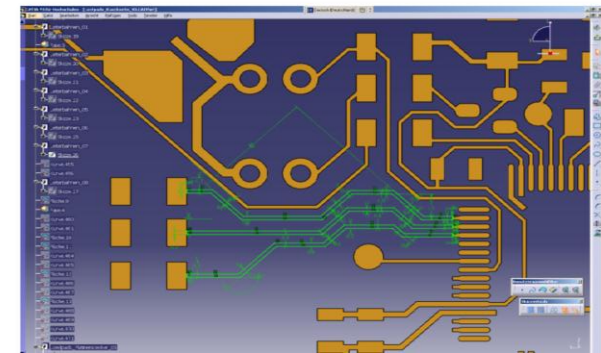
### Lückenschluss zwischen ECAD und MCAD

- Übertragung der SMD-Komponenten jeder Teilfläche mittels STEP-Format
- Zusammenführung aller Komponenten in einer Baugruppe



### 3D MCAD Layoutdesign

- Gestaltung der Lotpads und Leiterbahnverläufe als Ausprägungen in CATIA V5
- Berücksichtigung der Designrestriktionen des MID-Herstellverfahrens



# Resümee

## 4 Schlüsselfaktoren für erfolgreiche MID-Projekte (vgl. MID-Studie 2011)

- Risikobereitschaft
  - Korrekte Kostenabschätzung
  - MID-gerechtes Design
  - Komplexität der Prozesskette
- 
- Die **Vielzahl an Serienapplikationen** unterstreicht die **positive Entwicklung** der Technologie MID sowohl im Bereich der Substratwerkstoffe, der Herstellungsverfahren, der Anlagentechnik als auch im Bereich der Montagetechnologie
  - Die **weitere Marktdurchdringung** wird durch **innovative Entwicklungen**, beispielsweise im Bereich des 3D-MID Prototyping und effizienter Anlagentechnik, enorm forciert.

# Resümee

## 4 Schlüsselfaktoren für erfolgreiche MID-Projekte (vgl. MID-Studie 2011)

- Risikobereitschaft
  - Korrekte Kostenabschätzung
  - MID-gerechtes Design
  - Komplexität der Prozesskette
- 
- Die **Vielzahl an Serienapplikationen** unterstreicht die **positive Entwicklung** der Technologie MID sowohl im Bereich der Substratwerkstoffe, der Herstellungsverfahren, der Anlagentechnik als auch im Bereich der Montagetechnologie
  - Die **weitere Marktdurchdringung** wird durch **innovative Entwicklungen**, beispielsweise im Bereich des 3D-MID Prototyping und effizienter Anlagentechnik, enorm forciert.

Der steigende Bedarf nach vernetzten intelligenten Systemen bedingt komplexe integrierter Produkte, die sich als MID realisieren lassen

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie  
Projektgruppe Entwurfstechnik Mechatronik

Zukunftsmeile 1  
33102 Paderborn

Telefon: +49 5251 5456-101

Fax: +49 5251 5465-102

[mechatronik@ipt.fraunhofer.de](mailto:mechatronik@ipt.fraunhofer.de)

[www.ipt.fraunhofer.de/mechatronik](http://www.ipt.fraunhofer.de/mechatronik)

Weiter geht es um 16 Uhr

- Advances in Fine Pitch Plating for MID LDS Manufacturing Process  
Richard Retallick, MacDermid Inc.